

"EXPRESS MAIL" LABEL NO.: FV 592 067 491 US
I HEREBY CERTIFY THAT THIS PAPER IS BEING DEPOSITED WITH THE
UNITED STATES POSTAL SERVICE "EXPRESS MAIL POST OFFICE TO
ADDRESSEE" SERVICE UNDER 37 CFR 1.10 IN AN ENVELOPE ADDRESSED
TO: THE COMMISSIONER OF PATENTS, P.O. BOX 1450, ALEXANDRIA, VA
22313-1450, ON THIS DATE. THE COMMISSIONER IS HEREBY AUTHORIZED
TO CHARGE ANY FEES ARISING HEREFROM AT ANY TIME TO DEPOSIT
ACCOUNT 16-0877.

31.10 Thomas J. Hart
DATE SIGNATURE

DaimlerChrysler AG

Stückrad

22.10.2003

Auslandsfassung

17497 U.S. PTO
10/790387

5

Verfahren zum Laserstrahlschweißen
mit reduzierter Bildung von Endkratern

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserstrahlschweißen mit reduzierter Bildung von Endkratern gemäß dem Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 3. Solche Verfahren sind bereits aus der DE 196 30 521 A1 bekannt.

Beim Laserstrahlschweißen bildet sich am Ende der Schweißnaht ein sogenannter Endkrater. Der Endkrater entsteht infolge der Volumenschrumpfung der erstarrenden Schmelze nachdem der Laserstrahl am Nahtende ausgeschaltet oder umpositioniert wurde. Der Endkrater wirkt als geometrische Kerbe und verschlechtert die mechanischen Eigenschaften insbesondere der Betriebsfestigkeit der Schweißnaht, so daß es zu Löchern oder Rissen im Bereich des Endkraters kommen kann.

25

Zur Verringerung der Endkraterbildung wird gemäß der DE 196 30 521 A1 die Laserleistung am Nahtende reduziert (sog. „Leistungsrampe“) oder die Schweißgeschwindigkeit erhöht (sog. „Geschwindigkeitsrampe“).

30

Dieses Vorgehen reduziert das Problem geringfügig, ist aber häufig nicht ausreichend.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren mit verringerter Endkraterbildung anzugeben.

35

Die Erfindung ist in Bezug auf das zu schaffende Verfahren zum Laserstrahlschweißen mit reduzierter Bildung von Endkratern durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 3 wiedergegeben. Die weiteren Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens (Patentansprüche 2 und 4 bis 11).

Die Aufgabe wird bezüglich des zu schaffenden Verfahrens erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zum Nahtende der Fokus des Laserstrahls von einer zu schweißenden Oberfläche entfernt wird. Vorzugsweise beginnt die Defokussierung wenige mm vor dem Nahtende und erreicht ihr Maximum am Nahtende. Denkbar ist aber auch ein vorheriges Erreichen des Maximums.

Anders als bei einem Verfahren gemäß der DE 196 30 521 A1 wird hier die Laserleistung konstant gehalten. Durch die zunehmende Defokussierung erfolgt aber eine zunehmende Aufweitung der Laserbearbeitungsfläche auf der zu schweißenden Oberfläche, wodurch sich eine großflächigere und gleichmäßigere Erstarrungszone der Schmelze ausbildet.

Vorteilhaft ist es auch, wenn zusätzlich zum Nahtende hin die Schweißgeschwindigkeit reduziert wird, und/oder am Nahtende eine über die Naht lateral hinausreichende, lokale Strahlbewegung erfolgt.

Die Reduzierung der Schweißgeschwindigkeit bewirkt, daß trotz zunehmender Aufweitung der Laserbearbeitungsfläche der Energieeintrag pro Flächeneinheit der Schweißnaht pro Zeiteinheit der Laserbearbeitung gleich bleibt oder zumindest mit verringerter Geschwindigkeit abnimmt. Auch hieraus resultiert eine gleichmäßigere Erstarrungszone der Schmelze.

Die laterale Strahlbewegung bewirkt eine zusätzliche Vergleichmäßigung der Erstarrungszone.

5 Eine weitere Vergleichmäßigung ist durch die Kombination beider Merkmale erzielbar.

10 In einer alternativen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Verfahren gemäß der DE 196 30 521 A1 verbessert, indem zusätzlich zu einer Absenkung der Laserleistung eines der drei o.g. Verfahrens-Merkmale oder eine Kombination daraus Anwendung findet, woraus ebenfalls eine gleichmäßigere Erstarrungszone resultiert.

15 Besonders geeignete laterale Strahlbewegungen verlaufen in Form einer Pendelbewegung oder einer rücklaufenden Spirale als Verbreiterung der Naht beginnend am Nahtende in Form einer transversal zur Naht überlagerten Kreisbewegung oder in Form einer enger werdenden Spirale um das Zentrum des Nahtendes. So wird eine gleichmäßige Überdeckung eines verbreiterten Nahtbereiches gewährleistet, woraus ebenfalls eine
20 gleichmäßigere Erstarrungszone resultiert.

25 Vorzugsweise erfolgt die Defokussierung des Laserstrahls linear ansteigend. Ein derartiger Verlauf ist regelungstechnisch leicht zu verwirklichen und gewährleistet eine gleichmäßige Aufweitung des Laserstrahls und damit eine gleichmäßige Erstarrung der Schmelze. Für bestimmte Anwendungen und/oder Materialien können jedoch auch andere Formen des Fokussierungsverlaufes vorteilhaft sein, z.B. ein quadratischer
30 oder gar exponentieller Anstieg der Defokussierung.

Vorzugsweise befindet sich der Fokus am Nahtende, d.h. bei maximaler Defokussierung, in einer solchen Entfernung von der zu bearbeitenden Oberfläche, dass die Bestrahlungsfläche des

Lasers auf der Oberfläche dessen Fokusfläche um mindestens 50 Prozent, besser 200 Prozent übersteigt.

Die beschriebenen Verfahrensschritte können prinzipiell auf
5 einer konventionellen Schweißvorrichtung ablaufen, die vorzugsweise aus Präzisions- und Geschwindigkeitsgründen einen Roboter zur Strahlführung beinhaltet.

Als besonders vorteilhaft erweist sich das erfindungsgemäße
10 Verfahren jedoch, wenn der Laserstrahl mittels einer Scanner-Einrichtung auf die Oberfläche gelenkt wird. Eine Scanner-Einrichtung ist eine besonders schnelle und flexible Strahl-
ablenk-Einrichtung, beispielsweise ein Spiegelsystem (aus
mindestens einem ein- oder mehr-achsig ansteuerbaren schwenk-
15 baren Spiegeln, vgl. z.B. DE 100 27 148 A1) oder auch akustooptische Modulatoren.

Der große Vorteil besteht darin, daß eine leicht programmierbare Scannereinrichtung den Laserstrahl in sehr kurzen Zeit-
20 räumen auf nahezu beliebigen Bearbeitungsbahnen über die zu bearbeitende Fläche lenken kann und so insbesondere auch fein abgestimmte Änderungen der Schweißgeschwindigkeit oder komplizierter gestaltete laterale Strahlbewegungsbahnen problemlos darstellen kann.

25 Vorteilhafterweise beträgt die Länge der Nahtstrecke am Nahtende, innerhalb der die Leistung, die Geschwindigkeit oder der Fokus variiert werden oder die laterale Strahlbewegung erfolgt, 2 bis 5 mm, vorzugsweise 3 mm.

30 Die Laserleistung wird innerhalb der Nahtstrecke vorzugsweise von 2000 bis 1500 Watt, insbesondere von 1700 Watt, auf 500 bis 0 Watt, insbesondere auf 300 Watt, reduziert.

Die Nahtstrecke wird vorzugsweise innerhalb von 50 bis 100 ms, insbesondere innerhalb von 70 ms, durchfahren.

Die Ausdehnung der lateralen Strahlbewegung beträgt lateral zur Schweißnaht zu jeder Seite vorzugsweise 1 bis 5 mm, insbesondere 2 mm.

Bei Einhaltung der letztgenannten Verfahrensparameter ergeben sich geeignete Erstarrungszonen am Schweißnahtende beim Schweißen der im Automobilbau üblicherweise verwendeten Stahlbleche.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch ebenso zum Schweißen anderer Metalle oder auch von Kunststoffen geeignet.

Nachfolgend wird anhand von sechs Ausführungsbeispielen das erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert:

In einem ersten Ausführungsbeispiel wird ein Stahl-Blech ausgerichtet, eine Scanner-Einrichtung wird gleichmäßig darüber verfahren und lenkt einen Laserstrahl über die Bearbeitungsfläche. Die Scanner-Einrichtung besteht aus einem drei-dimensional schwenkbaren computer-gesteuerten Spiegelsystem. Die Scannereinrichtung weist circa 300 mm Abstand zur Oberfläche des Bleches auf, der Laserfokus befindet sich auf der zu schweißenden Oberfläche. Circa 3 mm vor dem Erreichen des programmierten Nahtendes wird der Fokus des Laserstrahls von der Oberfläche derart entfernt, daß die Bearbeitungsfläche des Laserstrahls auf der Oberfläche linear ansteigt und am Nahtende eine Bearbeitungsfläche von circa 100 Prozent der Fokusfläche einnimmt. Synchron zur Entfernung des Fokus von der Oberfläche wird die Schweißgeschwindigkeit reduziert der-

art, daß sie am Nahtende circa 50 Prozent der ursprünglichen Geschwindigkeit von circa 15 Metern pro Minute beträgt. Die Laserleistung bleibt während dessen konstant auf 1700 Watt.

- 5 In einem zweiten Ausführungsbeispiel erfolgt zusätzlich eine über die Naht lateral hinausreichende, lokale Strahlbewegung in Form einer transversal zu Naht überlagerten Kreisbewegung um das Zentrum des Nahtendes. Circa 3 mm vor dem Nahtende wird der Laserstrahl so gesteuert, daß das Zentrum der Bearbeitungsfläche eine Kreisbewegung um das Zentrum der vorherigen Bearbeitungsfläche beschreibt. Diese Kreisbewegung wird eine zur Naht transversale Komponente in Richtung auf das programmierte Nahtende überlagert, so daß eine Wendelbewegung um eine die bisherige Naht fortsetzende, gedachte Linie in
- 10 Richtung auf das Nahtende resultiert. Die Wendel hat einen Radius von circa 1 mm, der jedoch nicht sprunghaft, sondern schnell ansteigend erreicht wird. Die Anzahl der Wendeln liegt zwischen 3 und 10, idealerweise jedoch bei 5 bis 6 Umdrehungen. Der Laserstrahl durchläuft die gesamte Wendelbewegung in circa 70 ms.
- 15 20

- In einem dritten Ausführungsbeispiel wird die Laserleistung circa 2,5 mm vor dem Nahtende kontinuierlich von 2000 Watt auf 500 Watt am Nahtende abgesenkt. Synchron dazu wird die
- 25 Schweißgeschwindigkeit von 5 Metern pro Minute auf 3 Meter pro Minute gesenkt.

- In einem vierten und fünften Ausführungsbeispiel erfolgt alternativ zur Reduzierung der Schweißgeschwindigkeit bzw. zusätzlich eine über die Naht lateral hinausreichende, lokale Strahlbewegung in der oben beschriebenen Spiralform. Dabei
- 30

wird die Laserleistung von 1200 auf 200 Watt reduziert. Dieser Vorgang dauert je nach Durchmesser der Spirale zwischen 35 und 70 ms.

5

In einem sechsten Ausführungsbeispiel erfolgt zusätzlich eine Defokussierung des Laserstrahls derart, daß die Bearbeitungsfläche auf maximal 100 Prozent ansteigt.

10

Das erfindungsgemäße Verfahren erweist sich in den Ausführungsformen der vorstehend beschriebenen Beispiele als besonders geeignet für das Laserschweißen von Stahl-Bleichen in der Automobilindustrie.

15

Insbesondere kann so eine deutliche Reduzierung der Endkaterbildung erreicht werden, wodurch die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht deutlich verbessert werden. Durch den Einsatz eines Laserscanners können zusätzlich erhebliche Vorteile bezüglich der Bearbeitungszeit und Genauigkeit erzielt werden.

20

25

Die Erfindung ist nicht nur auf die zuvor geschilderten Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern vielmehr auf weitere übertragbar.

30

Der Abstand der Scanner-Einrichtung von der Oberfläche, die Laserleistung, die Schweißgeschwindigkeit, die Form der lateralen Strahlbewegung und der Grad der Defokussierung sind nicht zwingend durch die genannten Grenzen und Ausführungsbeispiele vorgegeben, sondern können bei Bedarf unter Zuhilfenahme des fachmännischen Könnens, beispielsweise an das zu schweißende Material angepaßt werden. Dies gilt insbesondere

für das Laserschweissen von Kunststoffen wie es z.B. in der
[Konstruktionspraxis 09/2002, Seiten 88-89] beschrieben ist.

DaimlerChrysler AG

Stückrad
22.10.2003

Patentansprüche

1. Verfahren zum Laserstrahlschweißen
mit reduzierter Bildung von Endkratern,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß zum Nahtende der Fokus des Laserstrahls von einer zu
schweißenden Oberfläche entfernt wird.

- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß zum Nahtende die Schweißgeschwindigkeit reduziert
wird,

und/oder

- 15 daß am Nahtende eine über die Naht lateral hinausreichen-
de, lokale Strahlbewegung erfolgt.

3. Verfahren zum Laserstrahlschweißen
mit reduzierter Bildung von Endkratern,

20 wobei zum Nahtende die Laserleistung reduziert wird,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

25 daß zum Nahtende die Schweißgeschwindigkeit reduziert
wird,

und/oder

daß am Nahtende eine über die Naht lateral hinausreichen-
de, lokale Strahlbewegung erfolgt

und/oder

- 30 daß zum Nahtende der Fokus des Laserstrahls von einer zu
schweißenden Oberfläche entfernt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die lokale Strahlbewegung in Form einer enger werden-
5 den Spirale um das Zentrum des Nahtendes erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die lokale Strahlbewegung in Form einer transversal
10 zu Naht überlagerten Kreisbewegung um das Zentrum des
Nahtendes erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
15 daß die Defokussierung des Laserstrahls linear erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das Laserschweißen mittels eines Laserscanners er-
20 folgt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Nahtstrecke am Nahtende, innerhalb der die Leis-
25 tung, die Geschwindigkeit oder der Fokus variiert werden
oder die laterale Strahlbewegung erfolgt, eine Länge von
2 bis 5 mm, vorzugsweise 3 mm, aufweist.
9. Verfahren nach Anspruch 8,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß innerhalb der Nahtstrecke die Laserleistung von 2000
bis 1500 Watt, vorzugsweise 1700 Watt, auf 500 bis 0
Watt, vorzugsweise 300 Watt, reduziert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Nahtstrecke innerhalb von 50 bis 100 ms, vor-
zugsweise 70 ms, durchfahren wird.

5

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Ausdehnung der lateralen Strahlbewegung lateral
zur Schweißnaht zu jeder Seite 1 bis 5 mm, vorzugsweise
10 2 mm, beträgt

DaimlerChrysler AG

Stückrad
22.10.2003

Zusammenfassung

Verfahren zum Laserstrahlschweißen
mit reduzierter Bildung von Endkratern

5 Beim Laserstrahlschweißen bildet sich am Ende der Schweißnaht
ein sogenannter Endkrater. Der Endkrater entsteht infolge der
Volumenschrumpfung der erstarrenden Schmelze nachdem der La-
serstrahl am Nahtende ausgeschaltet oder umpositioniert wur-
de. Der Endkrater wirkt als geometrische Kerbe und ver-
10 schlechtert die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht,
so daß es zu Löchern oder Rissen im Bereich des Endkraters
kommen kann.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein
15 Verfahren mit verringerter Endkraterbildung anzugeben.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß zum Nahtende der Fokus
des Laserstrahls von der zu schweißenden Oberfläche entfernt
wird und/oder eine transversale Bewegung des Strahles er-
20 folgt.